



III-210 – CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ETA PARA A INCORPORAÇÃO EM CONCRETO NÃO ESTRUTURAL

Bianca da Silva Ferreira⁽¹⁾

Graduanda em Licenciatura em Química pelo Instituto Federal do Espírito Santo - IFES.

Paulo Cezar Caliar⁽²⁾

Químico pela Universidade Federal do Espírito Santo/UFES (1997). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES (2004). Doutorando em Engenharia Ambiental pela UFES. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Endereço⁽¹⁾: Rua dos Ipês 45, José de Anchieta - Serra - ES - CEP: 29162-590 - Brasil - Tel: (27) 32282741 e-mail: bianca.quimica@gmail.com

RESUMO

O destino dos resíduos das Estações de Tratamento de Água – ETA's em todo o mundo até a década de 80 era o lançamento em cursos d'água. Contudo, os órgãos ambientais têm proibido esta prática, seja pelo aumento da quantidade de sólidos e da turbidez em corpos d'água, como também no provável aumento da sua toxicidade que, por sua vez, pode comprometer a estabilidade da vida aquática. A busca de soluções técnicas e ambientalmente vantajosas tem sido um desafio. Uma alternativa promissora é incorporação deste lodo em matriz de concreto para fabricação de tijolos, o que pode minimizar a disposição inadequada destes resíduos. O objetivo deste trabalho foi determinar as características do lodo da ETA de Duas Bocas, Cariacica/ES, para posterior incorporação em concreto e fabricação de tijolos. A caracterização do lodo mostrou um alto percentual de umidade (94,25%), densidade próxima da água ($0,958 \text{ g. cm}^{-3}$) e pH levemente ácido (6,24). Já os testes de resistência do concreto, após a incorporação do lodo, mostraram que até 5% de lodo pode ser incorporado ao concreto em substituição ao agregado miúdo para fabricação dos tijolos, pois os resultados à compressão dos corpos de prova confeccionados superaram os 20MPa recomendado pela literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, Estação de Tratamento de Água, Concreto, Características Físico-Químicas

INTRODUÇÃO

Conforme Tsutyia (2006), o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequada corresponde a uma das prioridades das populações, no que diz respeito ao desenvolvimento industrial e às necessidades relacionadas à saúde. Para transformar a água bruta em água potável, as Estações de Tratamento de Água (ETA's) utilizam processos como coagulação, floculação, decantação e filtração. Destaca-se que a etapa de coagulação é realizada com a adição de um agente coagulante, usualmente o sulfato de alumínio.

As atividades de tratamento de água, de acordo com Oliveira et al. (2004), produzem uma grande quantidade de resíduo (lodo). De um modo geral, as características do resíduo variam com os sólidos suspensos contidos na água bruta e com produtos resultantes dos reagentes químicos aplicados à água durante o processo de tratamento.

Hoppen et al. (2005-a) afirmam que a demanda por água potável e a má qualidade da água dos rios está exigindo maiores concentrações de produtos químicos nas ETA's gerando maior quantidade de lodo. Como consequência, o descarte desses resíduos nos rios, prática comum na operação de ETA's, têm contribuído para a deterioração da qualidade das águas dos mananciais. Muitos mananciais já se encontram em condições praticamente inviáveis de serem tratados, visto que a qualidade de suas águas impossibilita técnica e economicamente a sua recuperação.

Embora não seja um problema recente, o efeito da disposição inadequada dos resíduos sólidos gerados em ETA's no meio ambiente tem-se mostrado ser extremamente danoso, seja pelo aumento da quantidade de sólidos e da turbidez em corpos d'água, como também no provável aumento da sua toxicidade que, por sua vez, pode comprometer a estabilidade da vida aquática.

Nos países desenvolvidos, o lançamento destes resíduos vem sendo drasticamente reduzido, como resultado de legislações mais rigorosas de controle da poluição, da crescente escassez de recursos hídricos, e também



por causa do grande desperdício que representa descartar de 2 a 6% do volume de água produzido numa Estação de Tratamento de Água (ETA), gastos nas atividades de lavagem dos filtros, e descargas dos decantadores. No Brasil, as atuais legislações estão restringindo e até mesmo proibindo esta prática. De acordo com elas, os resíduos sólidos têm de ser minimizados e reaproveitados, ficando proibido seu lançamento em corpos d'água, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT 1987).

Segundo Richter (2001), o destino final para o lodo de ETA é uma das tarefas mais difíceis no tratamento de água, pois envolve transporte e restrições ambientais. Atualmente, a busca por alternativas econômicas e tecnicamente viáveis, além de ambientalmente vantajosas para a destinação final do lodo de ETA, é um grande desafio. A utilização benéfica do lodo pode ser considerada uma oportunidade de redução de custos e impactos ambientais associados a este resíduo.

Entre as alternativas utilizadas para o aproveitamento do lodo, pode-se destacar o emprego deste material à construção civil, mais especificamente na incorporação da matriz de concreto, a fim de reduzir o impacto ambiental e trazer vantagens como a diminuição do consumo de agregados naturais e do cimento, uma vez que, de acordo com John (2000), o setor consome entre 14 e 50% de todos os recursos naturais extraídos do planeta e só no Brasil, em 2000, estimou-se um consumo anual da ordem de 210 milhões de toneladas de agregados.

Em estudos com lodo seco de ETA na fabricação do concreto, Sales e Cordeiro (2001) observaram que por meio dos valores obtidos nos ensaios de resistência à compressão axial e absorção, o concreto com lodo de ETA pode ser utilizado em aplicações não-estruturais, alcançando os parâmetros exigidos ao desempenho mecânico e à durabilidade.

Neste universo, a caracterização do lodo de ETA, para posterior incorporação na matriz do tijolo de concreto é alternativa bastante promissora, uma vez que viabiliza menores custos na produção de tijolos, e conseqüentemente menores preços de venda para a população.

MATERIAIS E MÉTODOS

1 – Caracterização do lodo

As análises referentes à caracterização (teor de umidade, perda ao fogo, massa específica e pH), estão detalhadas a seguir.

a – Determinação da umidade

O teor de umidade foi determinado colocando-se a amostra de lodo, com massa previamente conhecida, em estufa a temperatura constante de 110°C por 24h. Após o período estipulado, a amostra foi colocada em um dessecador para atingir o equilíbrio térmico. Verificado o equilíbrio térmico pesou-se a amostra e verificou-se a perda de massa. Considerando a variação de massa como sendo derivado da perda de água por evaporação, e determina-se o teor de umidade. Todo o procedimento foi realizado conforme EMBRAPA (1997).

b – Perda ao fogo

A análise de perda ao fogo foi realizada de forma similar à umidade, com exceção da temperatura de operação, que é de 1.200°C, além de se utilizar mufla no lugar da estufa.

c – Verificação da massa específica (ρ)

Inicialmente foi verificada a massa da proveta (m_1). Em seguida, colocou-se lodo até a capacidade volumétrica máxima (V_p) e pesou-se o conjunto (m_2). Relacionando-se o resultado da subtração entre as massas da proveta vazia e com o lodo ($m_2 - m_1$) com o correspondente volume do lodo, obteve-se a massa específica, conforme mostrado na equação 01, seguir.

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V_p} \quad \text{Equação (1)}$$

d. Determinação do pH



O valor do pH foi determinado, simplesmente, colocando-se o eletrodo do peagâmetro (pHmetro) em contato com uma amostra de lodo previamente misturada em 100mL de água destilada.

2 – Identificação qualitativa e quantitativa de cada constituinte e geração dos corpos de prova

O estudo de dosagem foi realizado com a finalidade de se obter o teor de lodo a ser incorporado no concreto, e que apresente o melhor desempenho. Entre os corpos-de-prova as variáveis foram o lodo e o agregado miúdo. As porcentagens de lodo foram incorporadas em substituição ao agregado miúdo em peso. O fator considerado para a definição das dosagens foi a resistência mecânica (compressibilidade) do material obtido, em relação à quantidade de lodo adicionada no concreto referência (sem adição de lodo), que tem a seguinte composição Hoppen et al. (2005a):

- 1 - Relação água/cimento (a/c): 0,5 (v/m)
- 2 - Teor de agregados miúdos (areia): 40,4%;
- 3 - Teor de agregados graúdos (brita 0): 59,6%;
- 4 - Relação cimento/agregados totais: 0,2 ou 1/5.

Foram adotadas dosagens de 0 a 10% de lodo, uma vez que, de acordo com dados da literatura, teores de lodo acima de 10% comprometem a qualidade do concreto. A tabela 1 exhibe os traços adotados para cada percentual de lodo incorporado.

Tabela 1. Traços dos corpos de prova.

Lodo incorporado (%)	Lodo (Kg)	Areia (Kg)	Cimento (Kg)	Brita 0 (Kg)	Água (Kg)
0	0,00	34,85	18,00	53,20	9,90
3	1,05	33,80	18,00	53,20	9,90
5	1,75	33,10	18,00	53,20	9,90
7	2,45	32,40	18,00	53,20	9,90
10	3,48	31,36	18,00	53,20	9,90

Para cada traço de concreto, feito a partir das dosagens combinadas, foram moldados corpos-de-prova (CP), de dimensões 15x30cm de forma cilíndrica, que após secagem e cura foram destinados ao ensaio de resistência mecânica à compressão axial. A figura 1, a seguir, exhibe os moldes usados para a geração dos corpos de prova.



Figura 1. Molde dos corpos de prova.

3 – Cura e capeamento dos corpos de prova

O traço sem o lodo serviu de referência para análise final dos resultados. A mistura e homogeneização dos materiais ocorreram de forma mecânica usando-se uma betoneira. A moldagem de todos os corpos de prova para todos os traços analisados deu-se em acordo com a norma NBR 5738 (ABNT 1984). Ressalta-se que os corpos-de-prova foram moldados com o traço de 0,55 a/c.

O processo de cura foi feito no laboratório do CEFET-ES nas condições ambientes de temperatura, fazendo a manutenção da umidade por meio de aspersão de água, até a véspera do seu rompimento. Tal metodologia foi adotada no intuito de aproximar as mesmas condições de cura realizadas nas fábricas de blocos de concreto.

4 – Testes de compressibilidade

A determinação da resistência à compressão foi executada segundo a NBR 5739 (ABNT 1994) depois de decorridos 7, 14 e 28 dias da moldagem dos corpos-de-prova, utilizando uma prensa para rompimento de CP. Após completarem as datas previstas, os CP foram capeados com enxofre para que houvesse uma regularidade das superfícies de aplicação de carga. Todos os eles foram ensaiados no laboratório do curso Técnico de Construção Civil do CEFET-ES.

Neste ensaio o CP, figura 2-a, é colocado centrado sobre o prato da máquina universal de ensaios, figura 2-b, e submetido à pressão aumentada progressivamente até ruptura, anotando-se o valor da carga máxima suportada.

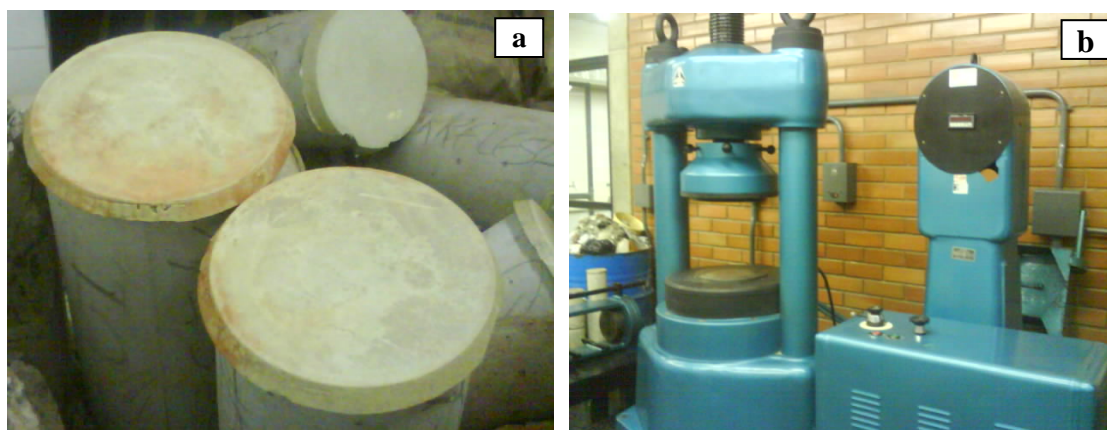


Figura 2. Detalhe: a- corpos de prova e b- máquina universal de ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 – Caracterização do lodo

O lodo apresentou coloração marrom, com viscosidade e consistência similar ao do chocolate líquido, tendo dificuldade para sedimentação ou flotação em seu estado natural. De acordo com Reali (1999) estes parâmetros apresentados caracterizam um lodo rico em sulfato de alumínio. Os demais resultados serão relacionados abaixo.

2 – Teor de umidade

Os resultados mostraram um elevado teor de umidade (94,3%). Resultado similar, 88,0%, foi encontrado por Hoppen et al (2005a) para o lodo da ETA de Passaúna, localizada na Região Metropolitana de Curitiba (PR).

3 – Perda ao fogo

A análise de perda ao fogo, realizada com o lodo previamente seco, demonstrou grande perda de massa, 70,6%, em relação à massa inicial submetida ao teste. Percentual semelhante, 87%, foi encontrado por Hoppen et al. (2006), quando da verificação da perda de massa do lodo da ETA Passaúna. Para Santos (1997), a perda de massa é decorrente da eliminação de água adsorvida, hidroxilas, decomposição de alguns materiais constituintes e matéria orgânica.



Valores bem diferentes daqueles descritos anteriormente foram identificados por Oliveira et al. (2004), que ao analisarem o lodo da ETA do município de Campos dos Goytacazes (RJ), verificaram perda de massa de 16,9%, muito parecido com os 17,1%, apurados por Wolff et al. (2007) para o lodo da ETA da Celulose Nipo-Brasileira S/A – CENIBRA localizada no município de Belo Oriente, na bacia hidrográfica do Rio Doce. Tal situação parece ser derivada das diferentes constituições dos materiais analisados.

4 – Massa específica

O valor apurado para este parâmetro, $0,958 \text{ g.cm}^{-3}$, indicou que trata-se de um material com massa específica muito parecido com o da água, que é de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$. Tal situação parece estar associada à grande quantidade de água presente no lodo analisado. O resultado verificado é semelhante ao determinado por Hoppen et al. (2005b) para o lodo da ETA Passaúna, que foi de $1,051 \text{ g.cm}^{-3}$. Tal situação está alinhada com o teor de umidade, descrito anteriormente.

5 – pH

Os resultados mostraram um valor de pH igual a 6,24, próximo daquele encontrado por Oliveira et al. (2004), que foi de $\text{pH} = 6$. O valor verificado está dentro da faixa característica de pH para lodo de ETA que tem o processo de clarificação da água à base de sulfato de alumínio que é entre 6 e 8, conforme Richter (2001). Não foram encontradas discussões, na literatura, acerca do efeito do pH do lodo sobre a resistência do concreto.

Tabela 1. Resultados referentes à caracterização do lodo.

Umidade (%)	Perda ao fogo (%)	Massa específica g.cm^{-3}	pH
94,3	70,6	0,958	6,24

6- Resultados referentes aos corpos-de-prova (CP)

Os resultados dos testes de compressibilidade mostraram que os traços de 7 e 10% de lodo, não deram resistência nenhuma, pois alguns quebravam durante o processo de capeamento e outros aos serem colocados na máquina universal de ensaios, não sendo portanto viáveis. Já os que apresentaram lodo incorporado de 3 e 5% apresentaram diferentes resistências aos testes de compressão, além de mostrarem que essa característica é influenciada pelo tempo de cura, conforme exibido na figura 3, que traz os resultados de compressão de acordo com a percentagem incorporada de lodo, além do limite mínimo aceitável nos testes de compressão (20MPa).

Percebe-se, com base na figura 1, um aumento da resistência com o tempo de cura. Quando as resistências dos traços com adição de lodo, foram comparadas à resistências do traço sem o lodo, observa-se um aumento na resistência no traço de 3% e decréscimo no traço de 5%, conforme apresentado na figura 3. O aumento da resistência no traço de 3% pode ter sido ocasionado pela capacidade aglomerante máxima que o lodo atingiu quando misturado ao cimento nessa porcentagem.

Quando são comparadas as resistências, em função, do lodo incorporado, verifica-se que o traço de 3% foi o que melhor sinalizou quais as proporções mais adequadas desses materiais para a confecção dos blocos de concreto, uma vez que apresentou a maior resistência à compressão. Este fato pode estar associado à capacidade aglomerante máxima que o lodo possuiu, auxiliando no endurecimento dos corpos-de-prova e conseqüentemente aumento da resistência. Tal situação merece destaque, pois sinaliza a possibilidade real de aproveitamento do lodo na confecção de artefatos para a construção civil, para um tempo de cura relativamente pequeno, 7 dias.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a resistência mais utilizada nas estruturas é a moderada, na qual a resistência à compressão varia entre 20 e 40 MPa. Helene e Terziani (1992) confirmam que a resistência para garantir a viabilidade do concreto deve ser superior a 20 Mpa. Conforme verificado na figura 1, todos os resultados de compressão realizados após 28 dias de cura mostraram resistência superior ao mínimo aceitável, 20MPa. Esta situação parece apontar que mesmo ao se adicionar 5% de lodo, é alcançado o mínimo de resistência admissível, porém com um tempo de cura maior. Ao se considerar que se trata de destinação de um resíduo que tem trazido incômodos para as companhias de saneamento, esse incremento no tempo de cura não parece atuar como um empecilho para o seu aproveitamento.

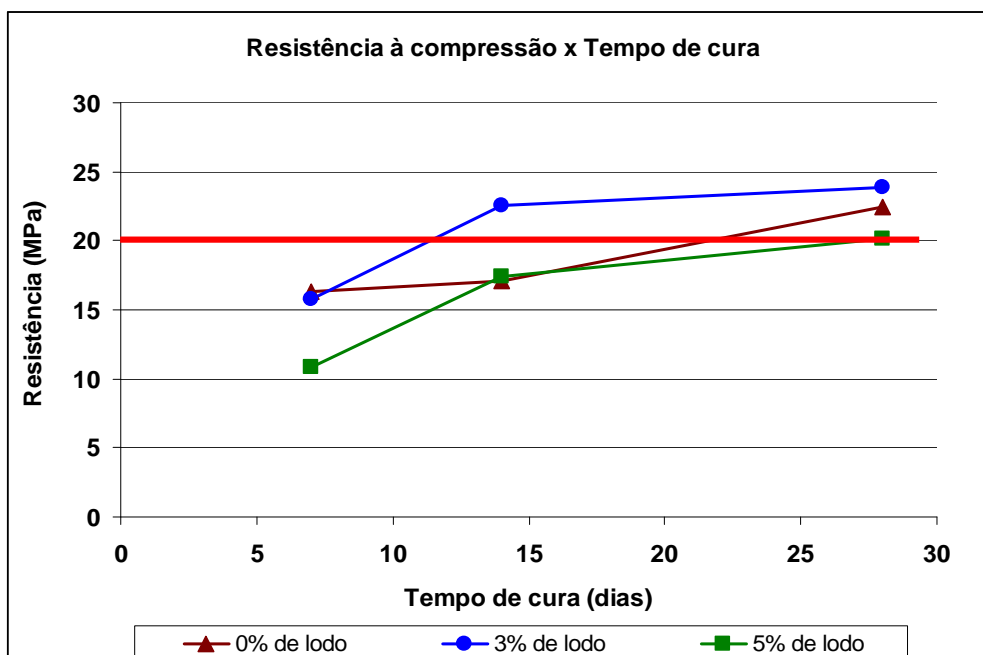


Figura 3. Resistência à compressão dos traços em função do tempo de cura.

Apesar de ter sido verificada resistência satisfatória após 14 e 28 dias para 3 e 5% de lodo incorporado, respectivamente, ainda não é aconselhado que o tijolo seja usado como constituinte estrutural pelo não conhecimento das interações químicas existentes entre o lodo e o concreto e pela atividade de corrosão futuras, o que poderá comprometer a edificação.

O presente trabalho visou dar um destino adequado para o lodo de ETA assim como diminuir o consumo de areia pela construção civil. Sabe-se que a extração de areia é sempre uma atividade danosa ao ambiente. Os principais danos são: retirada de cobertura vegetal, erosão, assoreamento de corpos hídricos e alteração paisagística. Além disto, sabe-se que a camada de areia funciona como filtro físico e biológico para as águas subterrâneas e que, portanto, sua retirada representa a diminuição destas importantes funções no ecossistema local. Outra perda importante, ao se extrair grandes quantidades de areia, é a diminuição da pressão sobre os lençóis de água subterrâneos. Desta forma a busca por alternativas ambientalmente sustentáveis tornam-se necessárias.

Segundo Cordeiro (1993), o lodo gerado nas estações de tratamento de água se aproxima de 1% do volume da água tratada. Assim para cada litro de água tratada são gerados 0,01L de lodo. Conforme dados obtidos junto à administração da Estação de Duas Bocas, são tratadas cerca de 314.000m³ de água por mês. Tal valor impõe a geração de 3.140m³ de lodo. Considerando então, a massa específica verificada, que é de 0,958g.cm⁻³, tem-se uma massa aproximada de 3.008T produzidas por mês. Se esse lodo fosse utilizado na fabricação de tijolos, não mais seria verificada a disposição inadequada desse resíduo, o que levaria à eliminação do impacto ambiental associado, além de se reduzir aqueles derivados da extração de areia.

CONCLUSÕES

Os resultados apurados proporcionaram as seguintes conclusões:

Traços que apresentam lodo incorporado em níveis superiores a 5% não oferecem condições de manufatura de artefatos .

O lodo de ETA exerce grande interferência na capacidade aglomerante do concreto.

O tempo de cura apresenta relação direta com a resistência à compressão, de forma que quanto maior o tempo, maior será a resistência, quando avaliado até o vigésimo oitavo dia.



A adição de 3% de lodo no traço tende a proporcionar o incremento da resistência à compressão quando comparado com traços isentos desse material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Moldagem e cura de corpo de prova de concreto cilíndricos ou prismáticos – Procedimento: NBR 5738. Rio de Janeiro, 1984.
2. _____. Resíduos sólidos – Classificação: NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987.
3. _____. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: NBR 5.739. Rio de Janeiro, 1994.
4. CORDEIRO, J. S. O Problema dos Lodos Gerados nos Decantadores em Estações de Tratamento de Água. São Carlos, 1993. 342 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
5. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997.
6. Helene, P. e Terzian, P.R.L. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Editora Pini Ltda, 1992.
7. Hoppen, C., Portella, K.F. Joukoski, A., Baron, O., Franck, R., Sales, A. Andreoli, C.V., Paulon, V.A. Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental. Cerâmica 51 (2005) 85-95 [a].
8. Hoppen, H., Portella, K.F., Andreoli, C.V., Sales, A. e Joukoski, A [b]. Estudo de dosagem para incorporação do lodo de eta em matriz de concreto, como forma de disposição final. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, 2005 [b].
9. Hoppen, C., Portella, K.F., Joukoski, A., Trindade, E.M. e Andreóli, C.V. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento portland para reduzir o impacto ambiental. Química Nova, vol. 29, nº 1, 79-84, 2006.
10. John, V. M.; Tese de livre docência, Universidade de São Paulo, Brasil, 2000.
11. P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, Concreto: estrutura, propriedades e materiais, Editora PINI, S. Paulo (1994).
12. Oliveira, E.M.S., Machado, S.Q. e Holanda, J.N.F. Caracterização de resíduo (lodo) proveniente de estação de tratamento de águas visando sua utilização em cerâmica vermelha. Cerâmica 50 (2004) 324-330
13. Reali, M.A.P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETA's. In: Reali, M.A.P. (coord.) Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. p. 21-39.
14. Richter, C.A. Tratamento de lodo de estação de tratamento de água. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.
15. Sales, A. e Cordeiro, J.S. **RIMA**, ABES, PROSAB (2001) 245-257.
16. Santos, P. S. Ciência e Tecnologias de Argilas, 2a ed., PINI Ltda.: São Paulo, 1997, vol 1.
17. Tsutiya, M.T. Abastecimento de água. São Paulo: ABES, 2004. 3 ed.
18. Wolff, E., Schwabe, W.K., Landim, A.B., Vitorino, M.D. e Santos, W.L. A substituição da argila por lodo de eta na produção de cerâmica vermelha. 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador (BA), 2007.